

DETERMINACIÓN DE UN GRADIENTE FENOLÓGICO

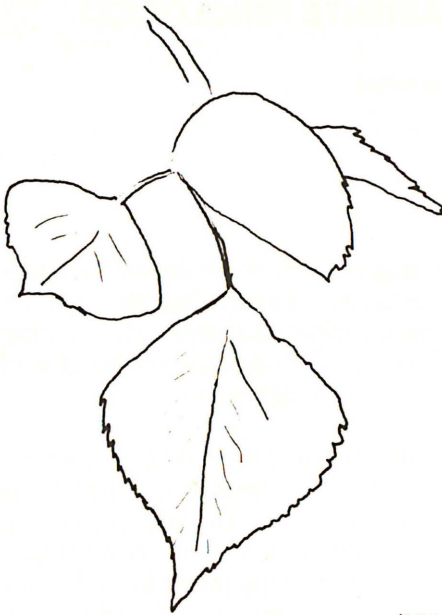
Javier Cano Sánchez

Introducción

Intuitivamente el concepto de gradiente nos sugiere la relación de mayor a menor que puede tener una cosa. Sin embargo, si afinamos aún más esta idea, desde el punto de vista físico, es la relación entre la diferencia de los valores tomados por una magnitud vectorial entre dos puntos y la distancia entre éstos en la dirección del vector, indicando de esta forma el incremento de la magnitud con la distancia.

Son numerosos los ejemplos de gradientes que habitualmente se utilizan en meteorología, la mayoría de ellos de carácter lineal, y que nos expresan la variación de la función que, teóricamente, experimenta una partícula cuando se desplaza vertical o longitudinalmente en el seno de la atmósfera, aumentando o disminuyendo según se descienda o ascienda respectivamente. Los más comunmente utilizados (tabla I) son los gradientes adiabáticos del aire en sus estados seco, húmedo y saturado (por proceso adiabático se entiende la transformación termodinámica que un sistema experimenta sin que haya intercambio de calor con otros sistemas; cuando hay expansión va acompañada de enfriamiento, mientras que a una compresión le corresponde un calentamiento), el gradiente vertical de temperatura o de enfriamiento geométrico, el gradiente de temperatura del punto de rocío, el gradiente de temperatura de ebullición del agua y el gradiente de temperatura horizontal (con respecto a la latitud), generalmente expresados en grados centígrados por hectómetro.

Gradientes meteorológicos (restar al ascender, sumar al descender)	
Adiabáticos del aire seco	$\gamma = 0,982 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$
Adiabáticos del aire húmedo	Variable, $\bar{\gamma} = g/\bar{C}_p$ $\bar{\gamma} < \gamma$
Adiabáticos del aire saturado	$\Gamma = 0,625 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$
Vertical de temperatura	Variable (α)
De la temperatura del punto de rocío	$t_d = 0,17 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$
De la temperatura de ebullición del agua	$t_e = 1 \text{ }^{\circ}\text{C}/324 \text{ m}$
De la temperatura horizontal	Hemisferio norte = $0,54 \text{ }^{\circ}\text{C}/\Theta$
	Hemisferio sur = $0,65 \text{ }^{\circ}\text{C}/\Theta$



JC-95

Hojas de álamo negro (*Populus nigra*)



JC-95

Hojas y fruto de quejigo (*Quercus faginea*)



JC-95

Flores y hojas de cerezo (*Prunus avium*)



JC-95

Flores de la retama negra (*Cytisus scoparius*)

Fig. 1.- Detalle de las especies que han servido de base en el presente estudio.

Si relacionamos la temperatura, uno de los elementos climáticos que junto con la precipitación más influye en una comunidad de organismos, con ciertos estadios de desarrollo en los seres vivos (respecto de las condiciones climáticas) podemos obtener índices numéricos y gráficos válidos para el análisis y conocimiento bioclimático de una región determinada. Sin embargo, para la obtención de dichos índices es más útil recurrir a la vegetación, por su estatismo y porque registran fielmente los efectos de un número de elementos climáticos, que los animales, por su movilidad y, en muchos casos, difícil observación, al margen de otros condicionantes de tipo meteorológico.

Partiendo de este hecho, en el presente trabajo describimos de manera sintética un sencillo método, basado principalmente en el análisis de los datos observados, y del que proponemos un índice numérico, denominado *gradiente fenológico*, que nos servirá entre otras aplicaciones, para trazar correctamente las curvas isofenas (líneas que unen los lugares en los que, en la misma fecha, se dan idénticos aspectos o fases de la vida vegetal o animal) con escasos puntos observados.

Esta necesidad de buscar un gradiente de tipo fenológico, en particular aplicado a las plantas, queda justificada porque los datos de que se disponen en la actualidad, en general, ya sea a través de los propios organismos públicos, en organizaciones no gubernamentales o en los cuadernos de campo de multitud de naturalistas, son cuantitativamente insuficientes, de distribución espacio-temporal irregular, se dispersan en numerosas especies en vez de unas pocas previamente seleccionadas (pero de mayor utilidad al tratárselas como indicadores generales, es decir, planta o grupo de plantas que por su presencia en un determinado lugar puede llegar a caracterizar el clima de la zona) y, finalmente, el acceso a este tipo de información es en muchas ocasiones tarea difícil, reinando la descoordinación en la mayoría de los casos. Por otro lado, ante la cada vez mayor demanda de trabajos de carácter bioclimático y por la importancia que le otorgan numerosos investigadores a la fenología, ciencia que estudia los fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con las condiciones ambientales de luz, temperatura, humedad..., como criterio básico en cualquier intento de clasificación climática, se pone de manifiesto la prioridad de establecer una fórmula que nos describa adecuadamente el comportamiento de un fenómeno en un área concreta partiendo de pocos pero precisos datos.

Material

Para la obtención del gradiente fenológico se han seleccionado (figura 1) tres especies de árboles, el álamo negro (*Populus nigra*), el quejigo (*Quercus faginea*) y el cerezo (*Prunus avium*), y un arbusto, la retama negra (*Cytisus scoparius*), que satisfacen bastante bien una serie de condiciones previas tales como su amplia distribución geográfica por la Península, ser especies autóctonas adaptadas al entorno natural (si bien, todas excepto el quejigo han sido extendidas artificialmente por el hombre), existir un gran número de registros bien repartidos y ser fácilmente detectables los fenómenos a observar: la floración o período que duran abiertas las flores, en el cerezo y la retama negra, y la foliación o acción de echar hojas, en el álamo negro y el quejigo.

En total se han analizado 1127 datos, de los cuales 694 proceden del banco de datos de la Sección de Meteorología Agrícola y Fenología, del Instituto Nacional de Meteorología y el resto son propios inéditos. De ellos, 473 pertenecen al álamo negro, 76 corresponden al quejigo, 359 al cerezo y 219 a la retama negra. Los datos se distribuyen entre 154 localidades, incluidas en 47 provincias (figura 2), con una cobertura territorial¹ del 31% para el álamo negro, del 17% para el quejigo, del 28% para el cerezo y del 21% para la retama negra. El período considerado abarca desde la primavera de 1981 hasta la primavera de 1995, aunque el 83,5% de los datos se incluyen dentro de los últimos 10 años.

Como herramienta fundamental se han utilizado los mapas del Atlas Nacional de España (Climatología) correspondientes a las temperaturas medias mensuales y anual para el período 1956-85, el mapa físico del Instituto Geográfico Nacional, el mapa del grado de continentalidad-oceanidad (basado en el índice de Gorezynski) y cuatro mapas fenológicos de elaboración propia, uno por cada especie, con los valores de las fechas medias, todos ellos de la Península Ibérica y Baleares a escala 1:4.500.000 y 1:9.000.000.

Previamente al análisis de los datos se ha repasado numerosa bibliografía para recopilar información, desde los clásicos tratados de Climatología y Meteorología hasta algunos más específicos de meteorología agrícola, pero ninguno monográfico sobre fenología. Es un hecho generalizado el que todos y cada uno de los autores destacan la importancia que tiene la fenología en diversos campos de estudio, en especial el bioclimático. Sin embargo, apenas se dispone de información más allá de la mera definición y del papel que puede jugar en las ciencias ambientales, apreciándose una notable carencia en este sentido.

Metodología

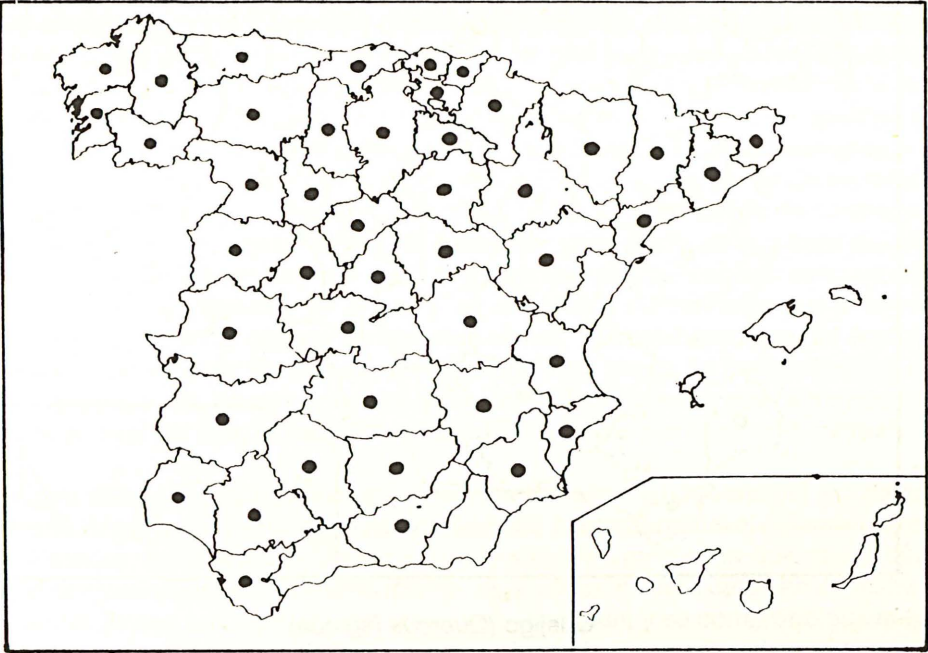
El gradiente fenológico que planteamos es función exclusiva de la temperatura del aire², y más concretamente de las peculiaridades que caracterizan el termoclima de la Península Ibérica. Esta circunstancia hace que el gradiente esté determinado por el cambio que experimenta la temperatura con respecto a los factores de latitud, altitud y continentalidad.

No se ha utilizado ningún procedimiento matemático en la determinación del gradiente, a excepción de discretos tratamientos estadísticos. Sin embargo, sí se ha empleado un método inductivo, es decir, partiendo del conocimiento de los fenómenos, hechos o casos hemos obtenido una ley o conclusión general que virtualmente se cumple en todos ellos uniformemente.

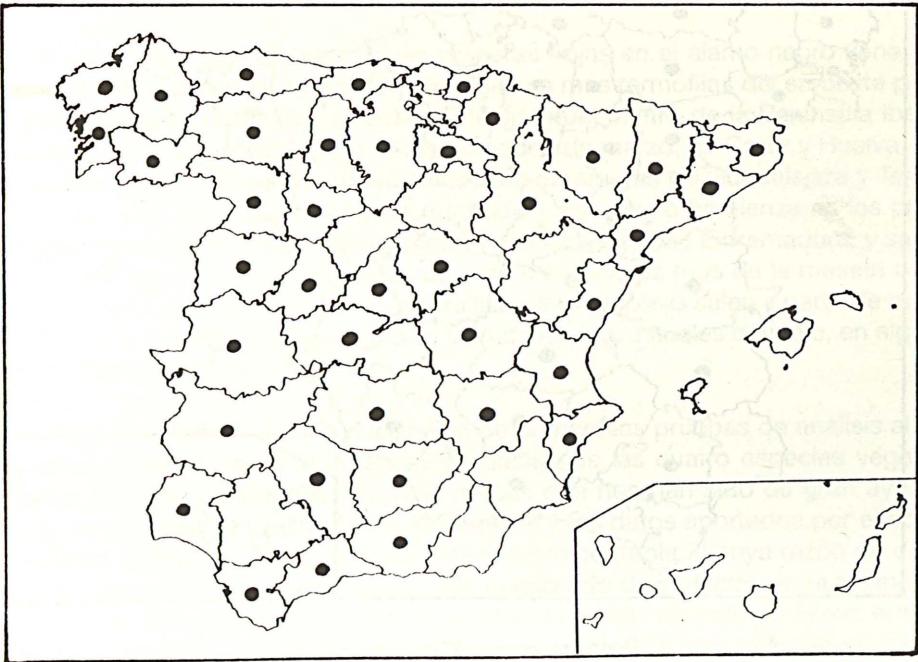
¹ Este porcentaje resulta de la operación: (comarcas naturales con distribución de la especie y con datos / comarcas naturales con distribución de la especie) x 100.

² Esta circunstancia hace que su denominación más adecuada fuera gradiente termofenológico pero, por no complicar en exceso el término, hemos optado por el otro más sencillo.

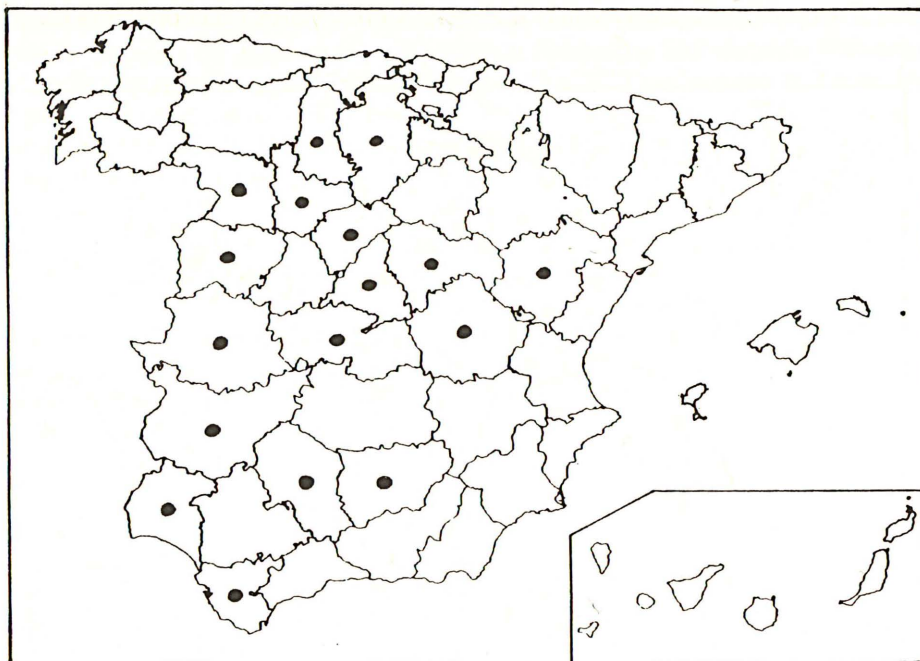
Fig. 2.- Provincias españolas de las que se disponen datos en el presente estudio



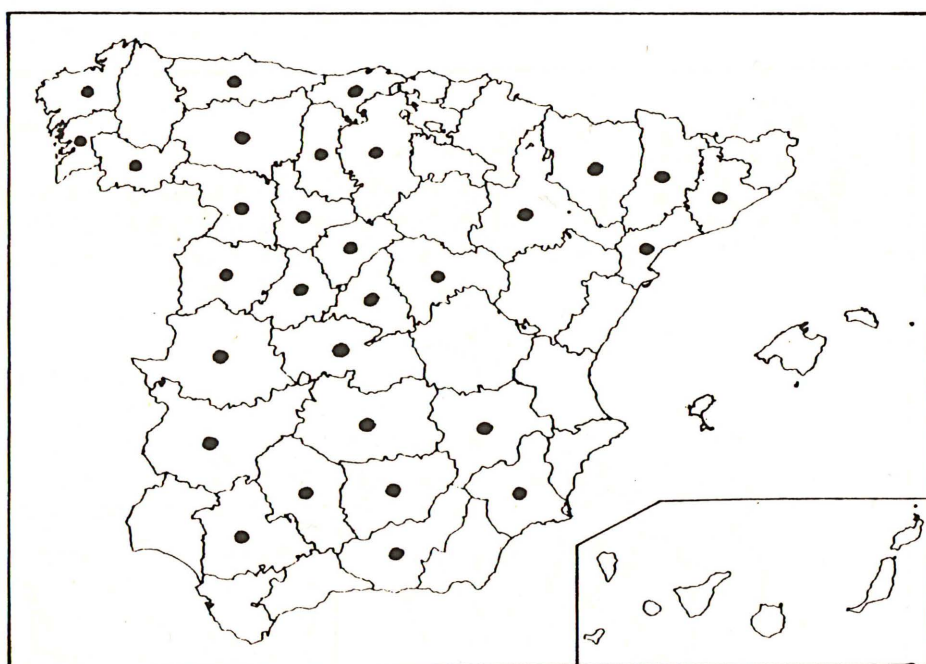
Álamo negro (*Populus nigra*)



Cerezo (*Prunus avium*)



Quejigo (*Quercus faginea*)



Retama negra (*Cytisus scoparius*)

Para lograr un resultado aceptable se han examinado los diferentes mapas elaborados, contrastándolos entre sí y extrayendo algunas consecuencias. En cada punto señalado de los mapas fenológicos se han trazado rectas, que unen fechas medias iguales en sentido norte-sur y este-oeste, obteniéndose una retícula sensiblemente fina. En este entramado de líneas, se aprecia un retraso progresivo en las fechas según nos desplazamos hacia el norte, ascendemos en altitud o nos dirigimos hacia zonas afectadas por un cierto grado de continentalidad. El efecto contrario, es decir un adelanto, se produce cuando vamos hacia el sur, descendemos altitudinalmente o nos aproximamos a lugares con influencia oceánica. Esta misma apreciación se describe acertadamente en la ley de Hopkins, que dice: *"en la zona templada de norteamérica y en primavera, se produce un atraso de 4 días por cada grado de aumento de latitud, por cada 120 m de elevación y por cada 5 grados de longitud hacia el este; en otoño, bajo las mismas condiciones, se produce un adelanto"*. Con anterioridad al enunciamiento de esta ley, en la década de los años veinte, los colaboradores del equipo de climatólogos de Vladimir P. Köppen, meteorólogo ruso y uno de los fundadores de la climatología moderna, observaron para la región de centroeuropa que *"a mayores alturas sobre el nivel del mar, la floración se retrasa 3 o 4 días por cada 100 metros"*.

Por otra parte, en 1993 se efectuó un transecto de sur a norte de 441 km de longitud, desde Aranjuez, en la Comunidad de Madrid, hasta Santander, durante un período de 3 meses, estudiando la floración de la retama negra y en la que se registraron multitud de observaciones. Posteriormente, se analizaron estos datos en un mapa con sus isoantes (líneas que unen la misma fecha de floración) y se comprobó su variación con respecto a la latitud, la altitud y la continentalidad.

Resultados

Se ha observado que la salida de las primeras hojas en el álamo negro tiene lugar entre comienzos del mes de marzo, en las regiones más termófilas del suroeste peninsular, y mediados de mayo, en las zonas más frías del centro de la Península Ibérica. En el quejigo, la foliación transcurre entre mediados de marzo, en Cadiz y Huelva, y los primeros días del mes de junio, en las inhóspitas parameras de Guadalajara y Teruel y áreas montañosas de Castilla y León. La floración del cerezo comienza en los primeros días de marzo, en el Valle del Guadalquivir y zonas bajas de Extremadura, y se prolonga hasta finales de abril o principios de mayo, en lugares fríos de la meseta castellano leonesa. Por último, en la retama negra las primeras flores salen a partir de marzo, en Extremadura y Andalucía Occidental, y las últimas hacia finales de junio, en algunos puntos del Sistema Ibérico.

Con estos resultados y tras la realización de numerosas pruebas de análisis al más de un millar de datos sobre la floración y foliación de las cuatro especies vegetales estudiadas, además de elaborar diversos mapas que nos han sido de gran ayuda, y tomando como referencia válida la ley de Hopkins y los datos aportados por el equipo de V. Köppen, hemos obtenido un gradiente fenológico (tabla II) cuya razón de desfase es de alrededor de 3 días por cada grado centígrado de variación en la temperatura media diaria. Esto quiere decir que en localidades relativamente próximas entre sí, con paisajes parecidos y con diferencias térmicas diarias de un grado centígrado, se va a producir un desfase fenológico en la vegetación de 3 días, retrasándose cuando

la temperatura es inferior a la del punto de referencia observado.

Gradiente fenológico (equivalencias)		
3 días / 1 °C temperatura media diaria	3 días / 100 m	10 días / 1 °C temperatura media del año

Tabla II

Otra manera de expresar el gradiente fenológico es con respecto a la variación de la altura, esto es, 3 días por cada 100 metros de desnivel entre dos puntos de observación, siendo este caso equivalente al anterior. Por último, si lo que tenemos son los datos medios de las fechas de un fenómeno concreto, para un cierto período de años (mínimo de 10), el valor del gradiente fenológico es de 10 días de desfase por cada grado centígrado en la variación de la temperatura media del año, indicándonos de esta forma que entre dos zonas de observación, no necesariamente próximas, con temperaturas medias anuales distintas, la diferencia en días entre ellas va a ser igual a la que existe en grados multiplicado por 10, expresándose con la siguiente fórmula:

$$(\bar{t}_1 - \bar{t}_2) \times 10 = n^\circ \text{ días de desfase,}$$

donde \bar{t}_1 y \bar{t}_2 son las temperaturas medias anuales de dos localidades diferentes, siendo $\bar{t}_1 > \bar{t}_2$.

Discusión

Como cabría esperar cuando se realiza un estudio en donde lo que se obtiene al final es una expresión sencilla y general como el gradiente fenológico es obvio pensar que éste conlleva ciertas limitaciones.

En primer lugar, este gradiente fenológico será menos fiable cuando las características bioclimáticas de un área cualquiera no sean homogéneas, es decir, donde existan grandes diferencias entre determinados elementos climáticos, principalmente en la precipitación. Allí donde se localicen zonas con un microclima distinto al área en que se circunscribe, bien por la diferente orientación (solana-umbría), por la exposición al viento (abrigo-intemperie) o por estar próximo a fuentes permanentes de humedad como ríos, lagunas o aguas freáticas, el gradiente deja de ser aplicable por verse sensiblemente modificado. Desconocemos si el gradiente tiene validez para todas las especies vegetales, ya que sólo se ha estudiado en cuatro de ellas, y si puede ser aplicado en todas las fases biológicas de las plantas (brotación, floración, foliación, maduración y caída de la hoja). Sobre este último aspecto sospechamos que en la fase de maduración del fruto el gradiente fenológico no se ajusta bien al depender, además de la temperatura, de otros elementos climáticos que no hemos tenido en cuenta como son la insolación y la radiación; en cambio, para las fases de brotación y caída de la

hoja todo parece indicar que sí se cumple satisfactoriamente, excepto en el caso en que la fecha del último día de helada, que en muchos puntos del interior y áreas montañosas se produce durante la primavera, sea muy tardía y de carácter advectivo (transporte horizontal de una masa de aire hacia una determinada zona en la que las propiedades térmicas, grado de humedad, etc., son distintas), lo que provoca la destrucción de los brotes en amplias regiones, incluyendo aquellas en las que de no haberse producido la helada hubieran brotado con normalidad, y retrasando de este modo la aparición de dicho fenómeno, quedando así excluida la aplicación del gradiente.

Pese a estos inconvenientes, el gradiente fenológico cuantifica de forma aproximada el ritmo de variación en ciertas fases biológicas de la vegetación a lo largo del área de distribución, cuyo conocimiento se hace cada vez más necesario para una correcta interpretación de los cambios que se producen en las plantas como consecuencia directa de lo que acontece en la atmósfera, pues como decía, hace ya más de un siglo, Lord William T. Kelvin: *"Si no puede usted medir, su conocimiento es insatisfactorio"*.

Bibliografía

A. Ascaso Liria y M. Casals Marcén; Vocabulario de Términos Meteorológicos y Ciencias Afines;. MTTC, INM, Madrid 1986, 410 pág.

I. Font Tullot; Climatología de España y Portugal; MTTC, INM, Madrid 1983, 291 pág.

José M^a Jansá Guardiola; Curso de climatología; MTTC, INM, Madrid 1969, 436 pág.

Vladimir P. Köppen; Climatología; Fondo de Cultura Económica, México 1948, 466 pág.

Edmundo Torres Ruiz; Agrometeorología; Editorial Diana, México 1984, 150 pág.

Varios autores; Atlas Nacional de España (Climatología); MOPT, DGIGN, Madrid 1992, 24 pág.

Guía resumida del clima en España, 1961-1990; MOPTMA, DGIGN, Madrid 1995, 110 pág.

WMO; Glosario de Términos usado en la agrometeorología; WMO/TD-N 391, Geneve, december 1990, 223 pág.